جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره هفدهم، بهار ۱۳۹۵

صص ٦٧-٥٥

پیش‌بینی قابلیت رخداد بهمن در محور میگون- شمشک با استفاده از رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر

کاظم نصرتی[1] - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
سارا کیاشمشکی- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
محمدمهدی حسین‌زاده- دانشیار گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ١٣٩٤/٥/٣١ تاریخ تصویب: ١٣٩٥/١/١٦

چکیده

سقوط بهمن، زیستگاه‌ها و جاده‌ها را در مناطق کوهستانی پر شیب تهدید می‌کند. ازآنجاکه در کشور ایران، نزولات آسمانی در نقاط کوهستانی به‌صورت برف است، شرایط تشکیل بهمن نیز وجود دارد. هدف از این پژوهش، بررسی نقش عوامل مؤثر بر رخداد بهمن و پهنه‌بندی آن در محور میگون- شمشک است. این محور در حوضه آبخیز شمشک با وسعتی در حدود ۳۷/۷۵ کیلومترمربع در شمال شرقی تهران در شهرستان شمیران واقع شده است. به‌منظور تهیه نقشه مناطق حساس به رخداد بهمن از روش رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر استفاده شد. به این منظور لایه‌های مورد نیاز شامل لایه طبقات ارتفاعی، طبقات شیب، جهت شیب، شکل دامنه، رخنمون سنگی و زمین‌شناسی تهیه و نقشه‌ها استاندارد شدند و نقشه مناطق خطر بهمن تهیه شد. با توجه به نتایج رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر به ترتیب لایه‌های شکل دامنه، ارتفاع، رخنمون‌های سنگی، شیب، جهت شیب به‌عنوان عوامل مؤثر در منطقه تراکم برف شناخته شده‌اند. همچنین نقشه مناطق حساس به رخداد بهمن به روش رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر در سه کلاس خطر زیاد، متوسط و کم به دست آمد که کلاس‌های خطر کم ٦٧/٣٥ درصد، خطر متوسط ٢٤/٥٩ درصد و خطر زیاد ٨/٠٦ درصد از مساحت کل حوضه را به خود اختصاص داده‌اند. نتایج حاصل از اجرای مدل رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر مهم‌ترین عامل در تراکم برف را شکل دامنه شناخت. نتایج حاصل از اعتبارسنجی مدل برای رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر مقدار ٠/٧٥ بود.

کلیدواژه‌ها: بهمن برف، تهیه نقشه خطر بهمن، مدل رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر، محور میگون ـ شمشک.

---

١ نویسنده مسئول : ٢٩٩٠٢٦٠٤ Email: k_nosrati@sbu.ac.ir

۱. مقدمه

مناطق کوهستانی در معرض خطرهای متفاوتی شامل بهمن‌ها، جریانات واریزه، لغزش‌ها و ریزش سنگ قرار دارد (استراب و گرت-رگامی[1]، ۲۰۰٦: ۱۹۲). کوهستان‌ها جایگاه اصلی برای شکل‌گیری بهمن‌ها در آن می‌باشند. خصوصیاتی مانند ارتفاع، زاویه شیب، پوشش گیاهی و آب‌وهوا مشخص‌کننده قابلیت کوهستان برای رخداد بهمن می‌باشند (آرمسترانگ و ناکس، ۱۹٤۳: ۹۵). نقش بستر جغرافیایی که در بعضی مناطق موانع بسیار سخت ایجاد می‌کند، در احداث شبکهٔ راه‌های ارتباطی ازجمله آزادراه‌ها، بزرگراه‌ها، راه‌های اصلی، راه‌های فرعی و روستایی از اهمیت خاصی برخوردار است. سالانه مبالغ زیادی صرف احداث و نگهداری از راه‌ها در مناطق کوهستانی می‌شود که هزینهٔ زیادی را بر اقتصاد کشور وارد می‌کند (فلاح تبار، ۱۳۷۹: ٤۷). بهمن دومین عامل فرسایش خاک است و اغلب در مناطقی شروع می‌شود که در اثر فرسایش آبی شکل گرفته‌اند. بهمن‌ها با فرسایش خاک سبب تخریب آن می‌شوند و امنیت غذایی را که به خاک وابسته است را تهدید می‌کنند. به‌طورکلی صدمات ناشی از بهمن را در چند مورد می‌توان خلاصه کرد: کندن سنگ و خاک، آسیب به مراتع و جنگل‌ها، آسیب به زمین‌های کشاورزی، آسیب به ساختمان‌ها و مراکز ارتباطی و از همه مهم‌تر خطراتی که انسان‌ها و حیوانات را تهدید می‌کند (فائو، ۱۹۹۲: ۳۵)

کشور ایران نیز به لحاظ شرایط اقلیمی و جغرافیایی، کشوری حادثه‌خیز محسوب می‌گردد به‌گونه‌ای که دهمین کشور بلاخیز دنیا و چهارمین کشور بلاخیز قاره آسیا است (سجادیان و همکاران، ۱۳۹۲: ۷٤). عمده مناطق بهمن‌خیز ایران بر روی دو رشته‌کوه اصلی یعنی البرز و زاگرس واقع شده است. از نظر وفور وقایع بهمن رشته‌کوه البرز مرکزی دارای بیشترین تکرار حادثه می‌باشد (احمدی و نصری، ۱۳۸٦: ١٤). در راه‌های کوهستانی و برف‌گیر ریزش بهمن اجتناب‌ناپذیر است و محور میگون- شمشک نیز به خاطر شرایط خاص ژئومورفولوژیکی که دارد از این امر مستثنی نیست. محور میگون- شمشک در حوضه آبخیز شمشک قرار دارد.

تحقیقی در آلپ سوئیس با عنوان تهیه نقشهٔ پهنه‌بندی خطر بهمن با داده‌های ماهواره‌ای و مدل ارتفاعی دیجیتال توسط گروبر[2] و هافنر[3] (۱۹۹۵) انجام شد که بر پایه تصاویر ماهواره‌ای لندست[4] TM و DEM[5] بود. رایس جر[6] و همکاران (۲۰۰۲) به‌منظور کاهش خطر بهمن در دالان‌های حمل‌ونقل به مطالعه‌ای در جاده‌های آیداهو و یومینگ در غرب ایالت متحده امریکا پرداختند. آن‌ها برای کاهش خطر بهمن برای رانندگان وسائل

1 Straub and Grêt-Regamey
2 Gruber
3 Haefner
4 Landsat Thematic Mapper
5 digital elevation model
6 Rice Jr

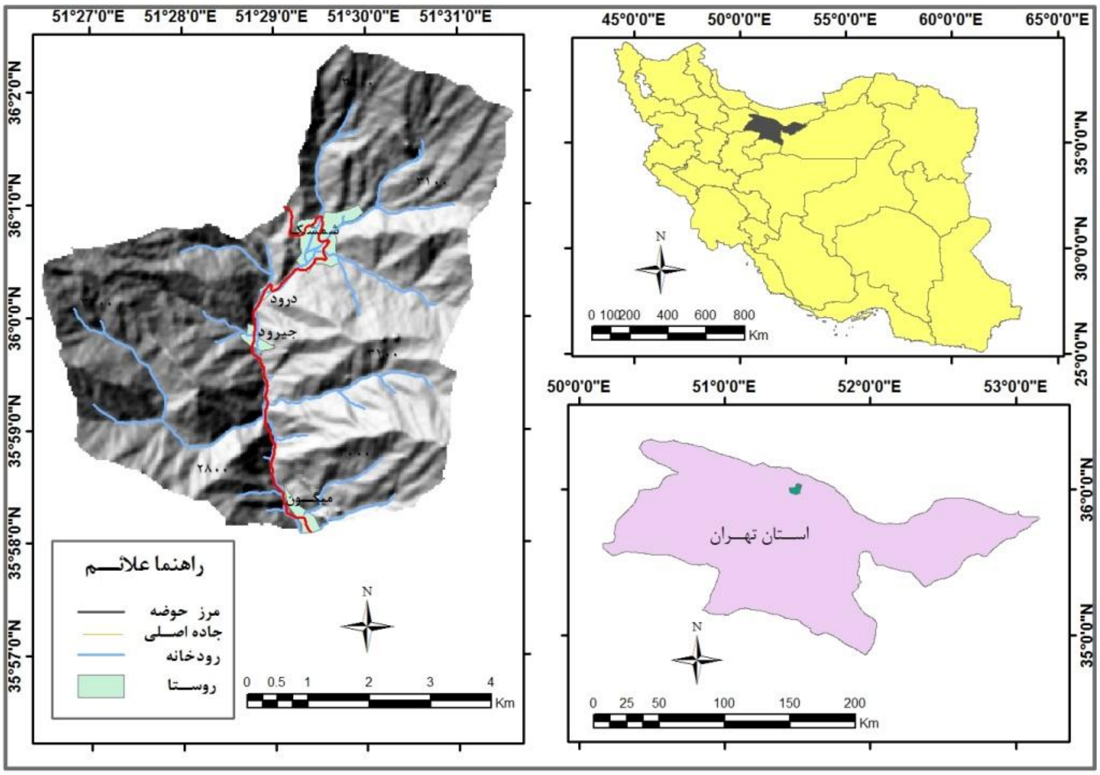
نقلیه و کارکنان راهداری از یک سیستم هشدار استفاده کردند. گاسنر[1] و برابس[2] (۲۰۰۲) در مطالعه‌ای با عنوان مدل‌های نزدیک‌ترین همسایه برای پیش‌بینی بهمن دو روش NXD2000 (مدل پیش‌بینی بهمن در مقیاس محلی) و NXD REG (مدل پیش‌بینی بهمن در مقیاس منطقه‌ای) را در مؤسسه فدرال سوئیس ارائه داده‌اند. هر دوی این روش‌ها از روش‌های نزدیک‌ترین همسایه هستند اما در مقیاس‌های متفاوت. به‌طورکلی منابع مطالعاتی در خصوص مسأله بهمن در ایران محدود می‌باشد. ازجمله مطالعاتی که راجع به بهمن انجام شده است می‌توان به مطالعه‌ای که توسط محمدی (۱۳۷٤) با عنوان بررسی بهمن و شناسایی گذرگاهی آن در حوضه آبریز سیروان در غرب کوه آبیدر انجام شده است، اشاره کرد. در بررسی که توسط احمدی و نصری (۱۳۸٦) بر روی وضعیت بهمن خیزی دره سه پستان در فریدون‌شهر اصفهان انجام گرفت از قابلیت‌های نرم‌افزار GIS[3] برای تهیه نقشه ژئومورفولوژی منطقه استفاده شد. ارزیابی خطر ناشی از سقوط بهمن و راه‌های پیشگیری از آن با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (RS[4] & GIS) مطالعه موردی: گردنه ژالانه در شهرستان مریوان عنوان مقالهٔ صفریان و سردشتی (۱۳۸٦) است. در این پژوهش از نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای ۲۰۰۲ ETM[5] و MODIS[6] و داده‌های هواشناسی و هیدرولوژی استفاده شد. در مطالعهٔ قنواتی و کریمی (۱۳۸۷) با عنوان پهنه‌بندی خطر بهمن در جاده هراز براساس ویژگی‌های ژئومورفولوژی آن‌ها با تفسیر عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی و بازدیدهای میدانی نقشهٔ نقاط بهمن خیز را تهیه کردند. نقشه‌های خطر بهمن در بیشتر کشورهای اروپا و آمریکای شمالی، طبق معیارهای فنی تعیین‌شده توسط راهنمای سرویس جنگل‌های ملی سوییس و موسسه پژوهش‌های فدرال برف و بهمن تهیه شده است (زارع بیدکی و همکاران، ۱۳۸۸: ۲۹٦). با توجه به موارد مذکور پژوهش جاری به بررسی نقش عوامل مؤثر بر رخداد بهمن و پهنه‌بندی آن در محور میگون- شمشک می‌پردازد. اهداف عمدهٔ این بررسی عبارت‌اند از: شناسایی مناطق پرخطر، شناسایی عوامل مؤثر بر شکل‌گیری بهمن و تهیه نقشه خطر بهمن.

۲. منطقه مورد مطالعه

محور میگون- شمشک در حوضه آبخیز شمشک قرار دارد و این منطقه با وسعتی در حدود ۳۷/۷۵ کیلومترمربع و دارای طول جغرافیایی ″۴۹ ′۲٦°۵۱ تا ″۳۹ ′۳۱ °۵۱ و عرض جغرافیایی ″۲۸ ′۵۷ °۳۵ تا ″۱۵

1 Gassner
2 Brabes
3 Geographic Information System
4 Remote Sensing
5 Enhanced Thematic Mapper
6 Moderate Resolution Imaging Spectroradiomete

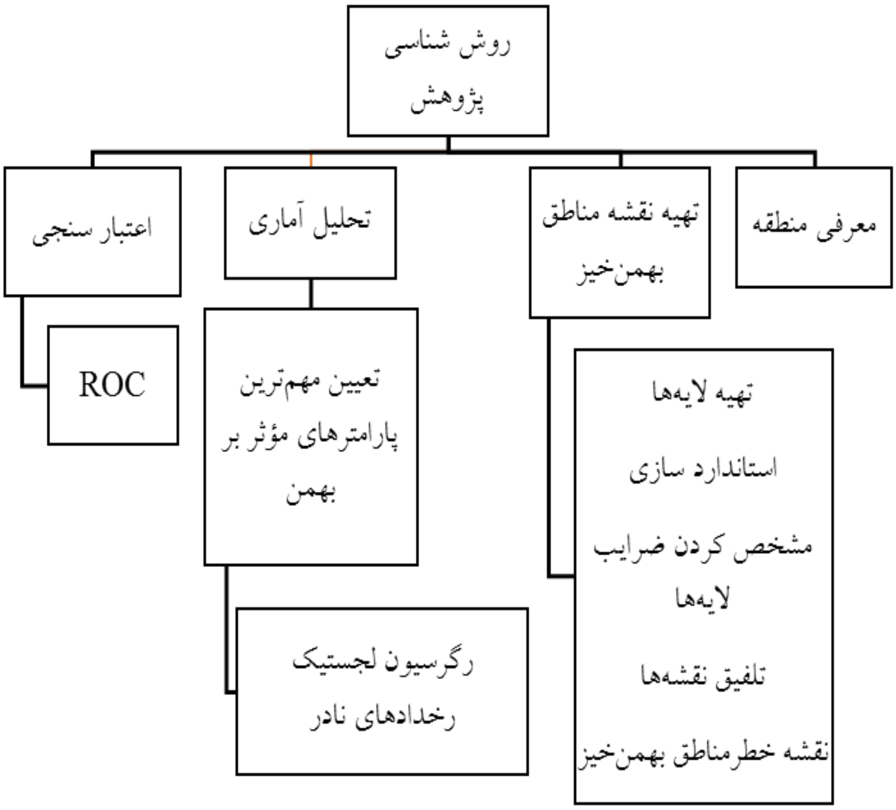
′۳ °۳٦ در شمال شرقی تهران در شهرستان شمیرانات بخش رودبارقصران واقع شده است (شکل ۱). کمترین ارتفاع حوضه در نقطه خروجی برابر با ۲۲۰۰ متر و بیشترین ارتفاع حوضه مقدار ٤۲۰۰ متر می‌باشد.



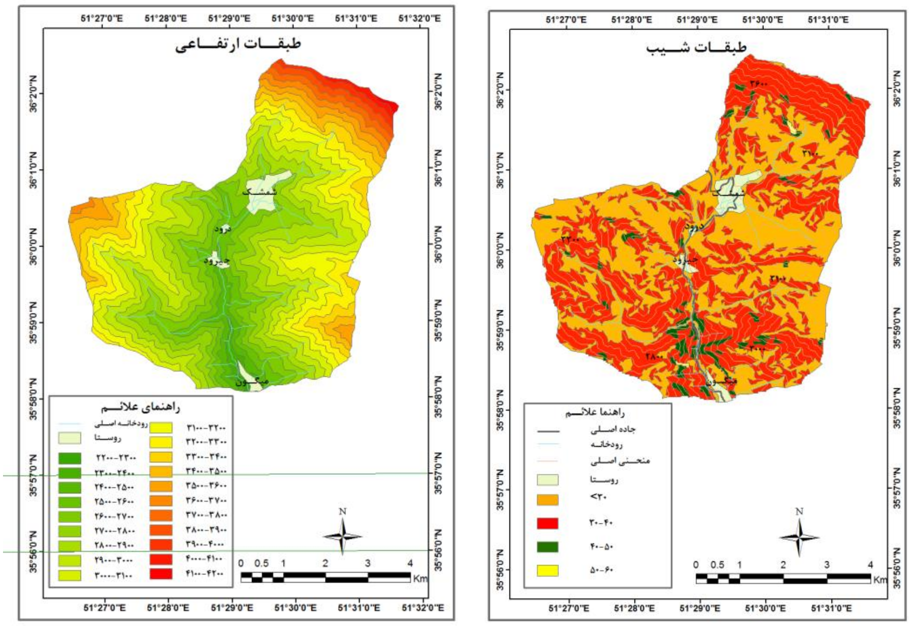
شکل ۱ موقعیت جغرافیایی حوضه شمشک

۳. مواد و روش‌ها

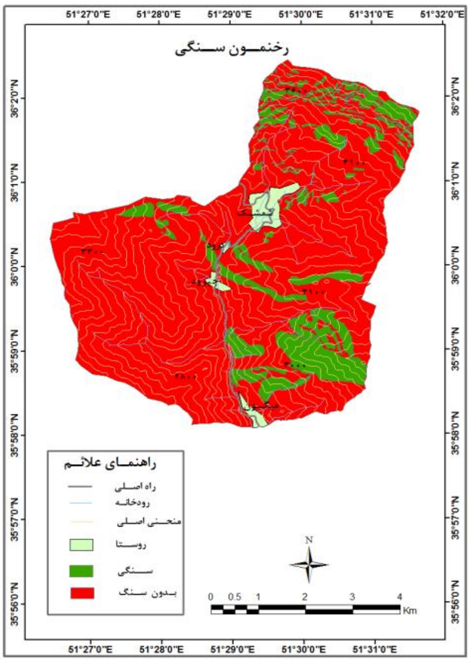
در این پژوهش از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، تصاویرGoogle Erath استفاده شد. در بررسی حاضر برای ورود و ذخیره‌سازی اطلاعات، تحلیل‌ها و پهنه-بندی خطر وقوع بهمن در محور میگون- شمشک از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شده است. متغیرهای مستقل شامل لایه‌های طبقات ارتفاعی، جهت شیب، شیب و شکل دامنه که از طریق نقشه توپوگرافی به دست آمد. همچنین لایه زمین‌شناسی از نقشه زمین‌شناسی حاصل شد. به کمک تصاویر گوگل ارث رخنمون‌های سنگی منطقه ترسیم شد و در محیط ARCGIS به لایه پلیگونی تبدیل شد و مساحت هر واحد به دست آمد. به کمک تصاویر Google Earth و شناخت محقق از منطقه، مناطق تراکم برف شناسایی شدند و در نرم‌افزار ARCGIS به لایه پلیگونی تبدیل شد (شکل ۳).

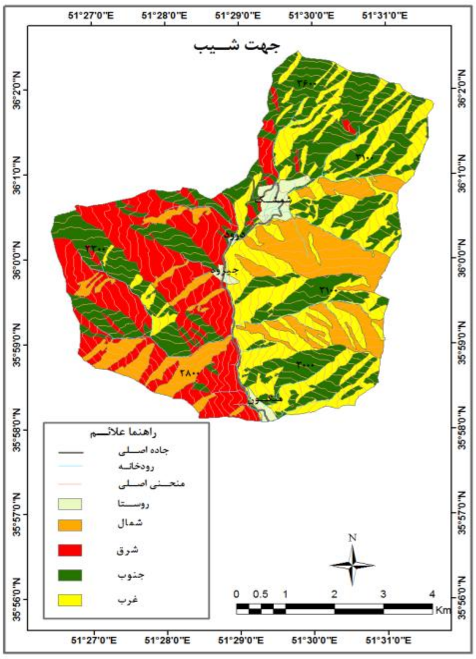


شکل۲ نمودار خلاصه روش‌شناسی پژوهش

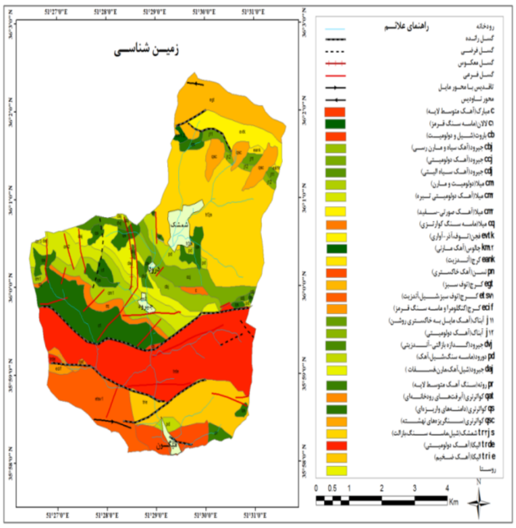


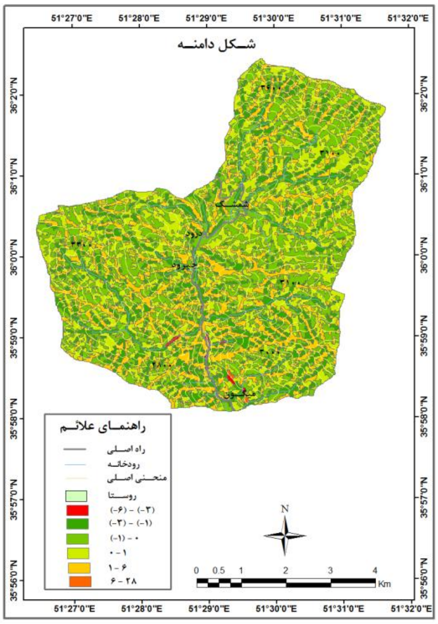
شکل۳ الف (نقشه طبقات ارتفاعی به متر)		ب (نقشه طبقات شیب به درجه)



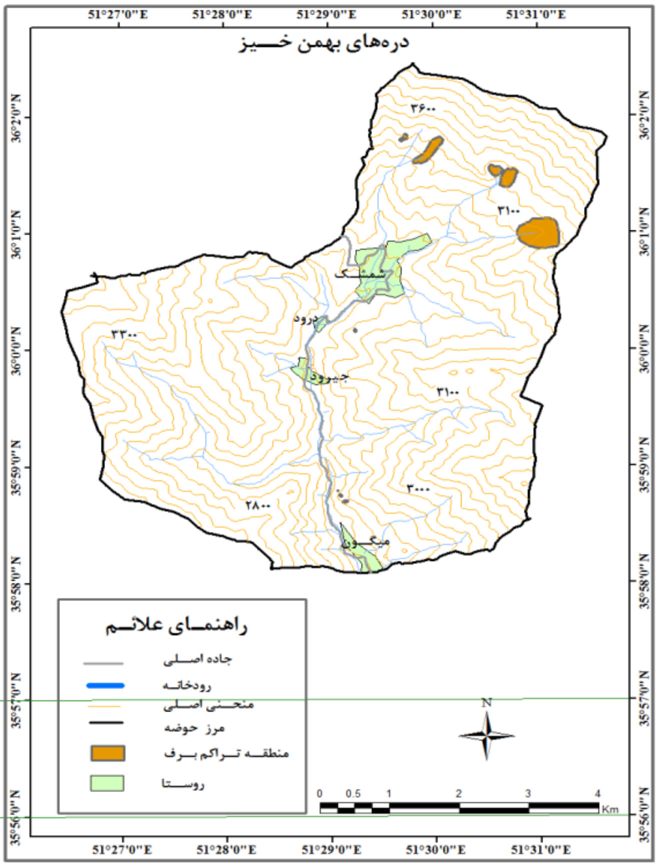


شکل۳ ج (نقشه جهت شیب) د (نقشه رخنمون سنگی)





شکل۳ ه (نقشه شکل دامنه) و (نقشه زمین‌شناسی)



شکل۳ ز (نقشه منطقه تراکم برف)

رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر

رگرسیون لجستیک عادی (OLR[1]) ارتباط بین یک متغیر پاسخ دو حالتی (وجود یا عدم وجود یک متغیر و مجموعه‌ای از متغیرهای بیانگر ($x_1,x_2,...,x_n$) را شرح می‌دهد. متغیرهای بیانگر ممکن است پیوسته یا گسسته (متغیرهای ساختگی) بوده و نیازی به توزیع فراوانی نرمال ندارند. تابع پاسخ لجستیک را می‌توان بدین‌صورت نوشت:

رابطه ۱:
$$p\,(yi = Xi) = \frac{\mathrm{EXP}\ (B1+B2Xi+\cdots+BnXi)}{1+\mathrm{EXP}\ (B1+B2Xi+\cdots+BnXi)}$$

در رابطه فوق: p= احتمال وقوع، B1= ضریب ثابت، B2= ضریب زاویه متغیرها (عرض از مبدأ)، Yi= متغیر وابسته، Xi= متغیر مستقل و EXP= تابع نمایی است. واژه «داده‌های رخداد نادر» در علوم سیاسی بکار رفت تا متغیرهای وابسته دوتایی را با یک‌های هزاران بار کوچک‌تر از صفر توصیف کند. رگرسیون لجستیک، علی‌رغم محبوبیتش درصورتی‌که کل منطقه تأثیر یافته از آن متغیر بسیار کوچک‌تر از کل منطقهٔ مورد مطالعه باشد ممکن

1 Ordinal Logistic Regression

است مشکلاتی را سبب شود. برای جلوگیری از این مسائل اصلاحاتی در رگرسیون لجستیک عادی ایجاد شد و این روش رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر نام گرفت. اولین اصلاح مربوط به انتخاب یک نمونه نماینده می‌باشد. بجای انتخاب تعداد مساوی از سلول‌های (پهنه بهمنی) و (پهنه غیر بهمنی) یک تا پنج بار بیشتر از سلول‌های (پهنه غیر بهمنی) باید انتخاب شود. انتخاب متغیرهای وابسته ممکن است نمونه‌گیری بر اساس ضرایب لجستیک را نشان دهد و بنابراین اصلاح ثانویه‌ای (که اصلاح مقدماتی نامیده می‌شود) نیاز است. با استفاده از شکست واقعی یک‌ها در جمعیت،T، و شکست مشاهده شده یک‌ها در اطلاعات نمونه، $\bar{y}$، α جدا شده اصلاح شده را می‌توان به طریق زیر محاسبه کرد:

رابطه ۲: $$\alpha = \bar{\alpha} - 1n\left[\left(\frac{1-T}{T}\right)\left(\frac{\bar{y}}{1-\bar{y}}\right)\right]$$

بااین‌وجود محاسبه احتمالات، $\tilde{p}_i$ با جابجایی α جدا شده اصلاح شده فرمول (۲) در فرمول (۱) باعث کم برآورد کردن احتمالات می‌شود چون نامعلومی تخمین در ضرایب $\hat{\beta}_i$ نادیده گرفته می‌شود. با اضافه کردن عامل اصلاحی C_i به $\tilde{p}_i$، احتمالات اصلاح شده بدین‌صورت به دست می‌آیند:

رابطه ۳: $$p(y_i=1) = \tilde{p}_i + c_i$$

برای هر مشاهده C_i بدین‌صورت محاسبه می‌شود:

رابطه ٤: $$C_i = (0.5 - \tilde{p}_i)\, \tilde{p}_i (1-\tilde{p}) x v(\beta) x'$$

X یک بردار $1*(n+1)$ مقادیر برای هر متغیر مستقل، X' برگردان X است و $V(\beta)$ ماتریس واریانس-کوواریانس می‌باشد (ون دن اکوارت[1]،۲۰۰٦:٤۰۰).

در مطالعه حاضر چون مساحت پهنه‌های بهمنی بسیار کوچک‌تر از مساحت کل منطقه است لازم است از رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر[2] بهره جست. بدین منظور از نرم‌افزار R استفاده شد. R، یک زبان برنامه‌نویسی و یک محیط نرم‌افزاری برای محاسبات آماری و تحلیل داده‌ها است، که بر اساس زبان S و Skim پیاده‌سازی شده است. این نرم‌افزار به‌صورت باز متن است و تحت اجازه‌نامه گنو به‌صورت رایگان در دسترس همگان قرار دارد (رئیسی، ۱۳۹۰:۱).

اعتبار سنجی مدل

به‌منظور ارزیابی اعتبار مدل از شاخص ROC[3] استفاده شد. چنانچه مقدار این شاخص برابر ۱ باشد نشان‌دهندهٔ برازش کامل مدل و چنانچه مقدار آن برابر ۰/۵ باشد نشان‌دهندهٔ عدم برازش مدل (تصادفی بودن مقادیر احتمال به دست آمده از تابع لجستیک) خواهد بود. این شاخص از آنجایی اهمیت دارد که مبنای آن مقادیر حقیقی احتمال

1 Van Den Eeckhaut
2 Rare event logistic regression
3 Receiver operating characteristic

نیست بلکه در نظر گرفتن مقادیر به‌صورت رتبه‌ای است؛ یعنی خروجی رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر که به‌صورت مقادیر احتمال وقوع است به‌صورت نسبی بررسی می‌گردد.

٤. بحث و نتایج

برای کشف رابطه بین مناطق تراکم برف به‌عنوان عوامل وابسته و ارتباط آن‌ها با شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، ارتفاع و غیره به‌عنوان عوامل مستقل از رابطه آماری رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر استفاده شد. مشاهدات مناطق تراکم برف نیز در لایه‌ای جداگانه قرار گرفت و برای نقاط دارای بهمن ارزش ١ و نقاط بدون بهمن ارزش صفر در نظر گرفته شد. برای تفسیر همبستگی موجود بین عوامل مستقل و وابسته، استفاده از ضرایب بتای موجود در رابطه رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر ضروری می‌نماید.

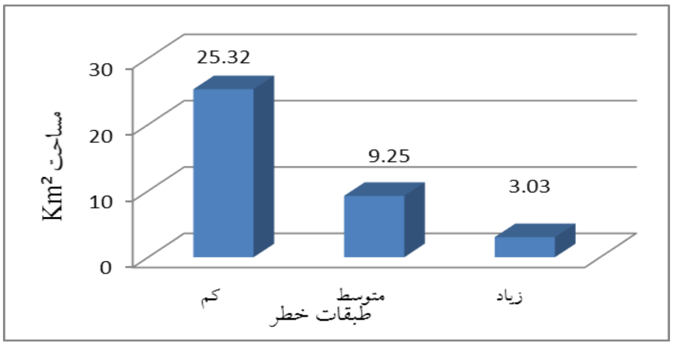
مقادیر متغیرهای پیشگو که با فرمت dbf تهیه شده بودند را وارد اکسل کرده و با فرمت csv ذخیره و برای وارد شدن به محیط R آماده شد و با استفاده از بسته نرم‌افزاری Zelig و اجرای دستور رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر در محیط R نتایج مدل به دست آمد. جدول (١) نتایج حاصل از رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر را نشان می‌دهد.

جدول١ نتایج رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر

پارامتر	ضریب بتا
ضریب ثابت	-٦/٢٤٧
شکل دامنه	-٦/٩٣٦
ارتفاع	٤/٤٣٦
برون زدگی سنگی	١/٥٢١
شیب	١/٢٥٤
جهت شیب	١/٠٧٩

نقشه پهنه‌بندی مناطق حساس به رخداد بهمن

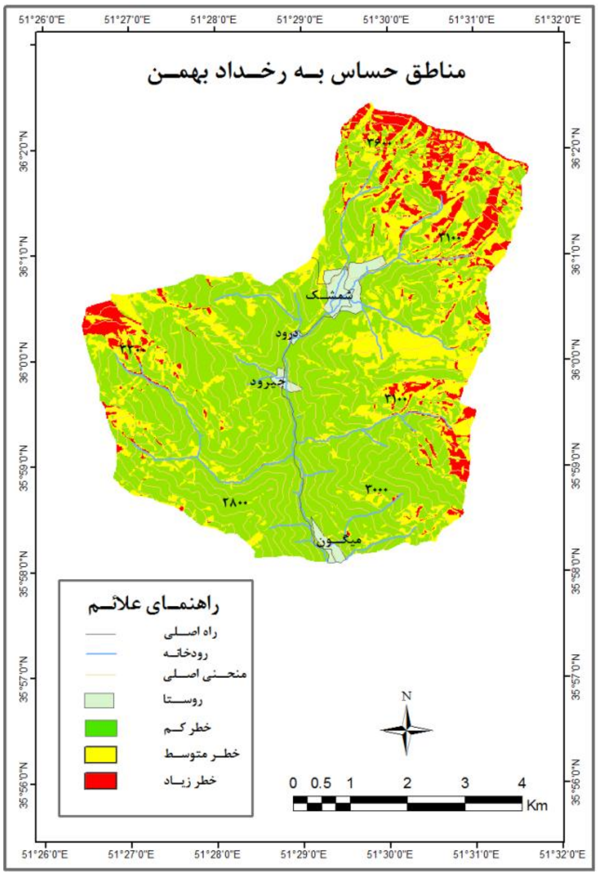
پس از آماده‌سازی لایه‌های عامل و تهیه نقشه مناطق تراکم برف که به ارزش صفر و یک رسید، اطلاعات تمام لایه‌ها به نقشه مناطق تراکم برف معرفی شد و تمام داده‌ها برای اجرای مدل رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر در محیط R آماده شدند. بر اساس ضرایب انتخاب شده که در جدول (١) قابل مشاهده است درنهایت ضرایب لایه‌های شکل دامنه، ارتفاع، برون‌زدگی سنگی، شیب و جهت شیب به‌عنوان ضرایب نهایی برای اجرای معادله استفاده شد و درنهایت نقشه مناطق حساس به رخداد بهمن به روش رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر در سه کلاس خطر زیاد، متوسط و کم به دست آمد که شکل (٤) آن را نشان می‌دهد. کلاس‌های خطر کم ٦٧/٣٥ درصد، خطر متوسط ٢٤/٥٩ درصد و خطر زیاد ٨/٠٦ درصد از مساحت کل حوضه را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ٢).



شکل٤ مساحت طبقات مختلف خطر رخداد بهمن در حوضه

جدول۲ مساحت مناطق حساس به رخداد بهمن

درجه حساسیت خطر رخداد بهمن	مساحت km²	درصد مساحت
کم	۲۵/۳۲	۶۷/۳۵
متوسط	۹/۲۵	۲۴/۵۹
زیاد	۳/۰۳	۸/۰۶



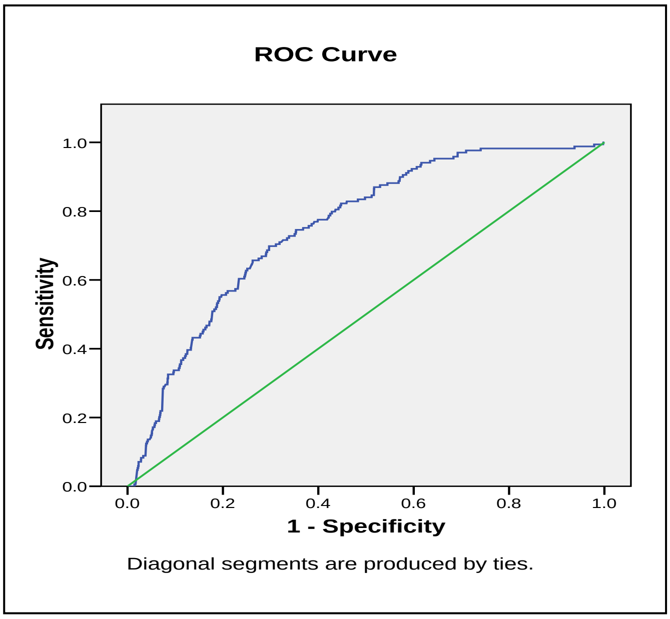
شکل۵ نقشه پراکندگی مناطق حساس به رخداد بهمن

اعتبارسنجی مدل

با توجه به اینکه مساحت مناطق بهمن خیز نسبت به مساحت کل منطقه ناچیز است برای اعتبار سنجی مدل ابتدا ۱۰٪ نقاط صفر و یک در نظر گرفته شد و با نیمهٔ حوضه که تراکم نقاط صفر و یک در آن قرار داشت اعتبار سنجی انجام شد. در محیط ARCGIS نقاط صفر و یک بر روی نقشهٔ نهایی پهنه‌بندی قرار گرفت و با استفاده از دستور Add surface information ارزش هر پیکسل به لایه نقطه‌ای قرار گرفته بر روی آن پیکسل داده شد و جدول حاصله وارد محیط SPSS[1] گردید تا منحنی ROC به دست آید. جدول (۳) نتایج حاصل از اعتبار سنجی با مدل رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر را نشان می‌دهد. مقدار سطح زیر منحنی عدد ۰/۷۵ را نشان می‌دهد که این مقدار چون به عدد یک نزدیک است می‌توان به نتایج مدل اطمینان کرد (شکل٦).

جدول۳ نتایج حاصل از اعتبار سنجی ROC

سطح زیر منحنی	انحراف معیار	معنی‌داری	فاصله اطمینان	
			بالا	پایین
۰/۷۵	۰/۰۱	۰/۰۰۱	۰/۷۲	۰/۷۹



شکل٦ منحنی ROC

1 Statistical Package for the Social Sciences

۵. نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر به ترتیب لایه‌های شکل دامنه، ارتفاع، رخنمون‌های سنگی، شیب، جهت شیب به‌عنوان عوامل مؤثر در منطقه تراکم برف شناخته شده‌اند. در نقشهٔ شکل دامنه ٦١/٤٩ درصد از منطقه تراکم در دامنه محدب و ۳۸/۵۱ درصد از منطقه تراکم برف در دامنه مقعر قرار دارد، که با توجه به مبانی نظری بیشتر بهمن‌ها در دامنه‌های محدب اتفاق می‌افتد. لایهٔ شکل دامنه با ضریب منفی است؛ یعنی هرچه از شکل دامنه (مقعر و محدب) به حالت دامنه صاف نزدیک‌تر شویم تراکم برف کم‌تر می‌شود؛ اما بقیه لایه‌ها ضریب مثبت دارند. بیشترین مناطق تراکم در ارتفاعات ۳۲۰۰ تا ۳٤۰۰ متر قرار دارد که درمجموع ۱۳درصد از مساحت حوضه را به خود اختصاص می‌دهند که مناسب برای بارش از نوع برف و تراکم پوشش برف است. نقشهٔ شیب نشان داد که ۵۸/۲۲ درصد از مناطق تراکم در شیب ٤۰–۳۰ درجه قرار دارد که این مقدار شیب مساعد برای ریزش بهمن است. بیشترین منطقه تراکم برف در جهت جنوبی با مقدار ٤۹/۸۵ درصد و بعدازآن جهت غربی با مقدار ۲۹/١٤ درصد است؛ زیرا بارش‌های این منطقه در زمستان‌ها غالباً مدیترانه‌ای و از سمت غرب است. جهت کلی کوه‌های منطقه مورد مطالعه غربی– شرقی بوده و از روند عمومی البرز مرکزی پیروی می‌کند. ۹۹/۹۷ درصد از مناطق تراکم در مناطق فاقد رخنمون‌های سنگی قرار دارد؛ زیرا این‌گونه مناطق مستعد برای تراکم برف هستند بزرگ‌ترین رخنمون سنگی منطقه کوه اوئک است که به‌صورت طاقدیسی سنگی که دهلیزهای آن محل مناسبی برای ریزش بهمن است و بیشتر دره‌های بهمن خیز در این طاقدیس قرار دارد.

به‌منظور اعتبار سنجی مدل بکار رفته در این پژوهش از روش ROC استفاده شد، که نتایج این اعتبار سنجی برای رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر ۰/۷۵ می‌باشد که چون مقدار بالایی است (نزدیک به یک) اعتبار مدل را تأیید می‌کند.

کتابنامه

آرمسترانگ، بتسی؛ ناکس، ویلیامز؛ ۱۳۷۷. بهمن. ترجمه منوچهر دادخواه. انتشارات دانشگاه تهران. صص۲۹۷.

احمدی، حسن؛ نصری، مسعود؛ ۱۳۸٦. بررسی وضعیت بهمن‌خیزی حوزه آبخیز دره سه پستان (فریدونشهر استان اصفهان) با استفاده از تکنیک‌های GIS. نشریه دانشکده منابع طبیعی. دوره ٦۰، شماره ۱. صص۲۳-۱۳. تهران.

رئیسی، محسن؛ ۱۳۹۰. آموزش گام‌به‌گام تحلیل شبکه اجتماعی در زبان R. گزارش تحقیقی عملی درس یادگیری ماشین. دانشگاه صنعتی امیرکبیر پلی تکنیک تهران. دانشکدهٔ مهندسی کامپیوتر و فن‌آوری اطلاعات.

زارع بیدکی، رفعت؛ احمدی، حسن؛ مهدوی، محمد؛ صداقت‌کردار، عبداله. ۱۳۹۰. تهیه نقشه خطر بهمن در جاده نسا–گچسر با بهره‌گیری از اطلاعات ژئومرفولوژی و اقلیم، نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ٦٤. شماره ۳. صص۳۰٦–۲۹۵. تهران.

سجادیان، مهیار؛ برفی، زهرا؛ قهرمانی، محمدتقی. ۱۳۹۲. تحلیل وضعیت بهمن خیزی روستاها و راه‌های استان مازندران با بهره‌گیری از تلفیق GIS و AHP، فصل‌نامه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری چشم‌انداز زاگرس، سال پنجم، شماره ۱۸. صص ۸۵-۷۳. بروجرد.

صفریان، آمنه؛ سردشتی، ماهرخ؛ ۱۳۸٦. ارزیابی خطر ناشی از سقوط بهمن و راه‌های پیشگیری از آن با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی RS&GIS مطالعه موردی: گردنه ژالانه در شهرستان مریوان. چاپ در سومین کنفرانس بین‌المللی مدیریت جامع بحران در حوادث غیرمترقبه. تهران.

فائو؛ ۱۳۸۷. کنترل برف و بهمن. ترجمه حسن احمدی، سمیه طاهری. انتشارات دانشگاه تهران. صص۳۱۹.

فلاح تبار، نصراله؛ ۱۳۷۹. تأثیر برخی عوامل جغرافیایی بر شبکه راه‌های کشور. مجله پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۳۸. صص ۵۵-٤٧. تهران.

قنواتی، عزت اله؛ کریمی، جبار؛ ۱۳۸۷. پهنه‌بندی خطر بهمن در جاده هراز بر اساس ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی. نشریه علوم جغرافیایی. جلد۹، شماره۱۲. صص ۱۰۰-۸۳. تهران.

محمدی، اقبال؛ ۱۳۷٤. بررسی بهمن و شناسایی گذرگاهی آن در حوزه آبخیز سیروان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر حسن احمدی. دانشگاه تربیت مدرس. دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی.

Falahtabar, N. (2000). The effect of some geographical factors on the ways network of country. *Geographical research quarterly, 38*, 47-55.

FAO. (1985). *Snow and avalanche control* (H. Ahmadi & S. Taheri, Trans.). Tehran: University of Teheran Press.

Gassner, M., & Brabes, B. (2002). Nearest neighbor models for local and regional avalanche forecasting. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *2*, 247- 253.

Ghanavati, E. (2008). Avalanche risk zonation based on geomorphological characteristics in Haraz road. *Journal of Geographical Sciences*, 9(12), 83-100.

Gruber, U., & Haefner, H. (1995). Avalanche hazard mapping with satellite data and a digital elevation model. *Applied Geography, 15*, 99-113.

Mohammadi, E. (1995). *The avalanche analysis and its path identification in Sirvan watershed* (Unpublished Master thesis). Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Rice Jr, R., Decker, R., Jensen, N., Patterson, R., Singer, S., Sullivan, C., & Wells, L. (2002). Avalanche hazard reduction for transportation corridors using real-time detection and alarms. *Cold Regions Science and Technology, 34*(1), 31–42.

Straub, D., & Grêt-Regamey, A. (2006). A bayesian probabilistic framework for avalanche modelling based on observations. *Cold Regions Science and Technology, 46*(3), 192-20.

Van Den Eeckhaut, M., Vanwalleghem, T., Poesen, J., Govers, G., Verstraeten, G., & Vandekerckhove, L. (2006). Prediction of landslide susceptibility using rare events logistic regression: A case-study in the Flemish Ardennes (Belgium). *Geomorphology, 76*, 392-410.